M. le Profr Claude Bernard hommage respectueux

Paul Dupuy

CONSIDÉRATIONS

SUR LE

MOUVEMENT MUSCULAIRE

PAR

le Docteur PAUL DUPUY

Ancien interne lauréat (médaille d'or).

EXTRAIT DE LA GAZETTE MÉDICALE DE PARIS.

PARIS, 1869.

Paris. — Imprimerie de Cusset et Ce, rue Racine, 26.

CONSIDÉRATIONS

SUR

LE MOUVEMENT MUSCULAIRE.

Jadis on considérait les êtres doués de vie comme susceptibles de produire le mouvement, en vertu d'une propriété intrinsèque, mais l'atomisme devait sur ce point, comme sur tant d'autres, modifier profondément des croyances dont le caractère instinctif et spontané ne saurait faire doute pour personne.

Descartes qui, par sa conception géométrique de l'univers, relève d'une généalogie philosophique bien connue, réduisit ouvertement les phénomènes moteurs des corps organisés au mécanisme le plus absolu. Tous les mouvements de la nature sont communiqués et la somme en est invariable : l'expression seule varie. Le pouvoir des créatures (causes secondes) se borne à diriger le mouvement, sans y ajouter ni y retrancher.

Il y avait là évidemment une assertion non démontrée : c'était un *à priori* de l'esprit, une intuition de génie si l'on veut.

La confirmation expérimentale, pour s'être fait attendre, n'en a pas moins obtenu d'emblée l'adhésion unanime de tout ce qui porte un nom dans la science. MM. Hirn, Béclard, etc., nous ont révélé une mécanique intérieure, magistralement affirmée par Liebig, et qui se produit comme la justification éclatante de certaines vues de l'esprit, hypothétiques sans nul doute, mais néanmoins, paraît-il, parfois conformes à la réalité.

Abandonnant toute recherche des causes premières et des causes

secondes (1), la science moderne n'a d'autre objectif que les phénomènes moteurs et les rapports qui les unissent, c'est-à-dire leurs lois. La nature, malgré la richesse illimitée de ses horizons et son inépuisable fécondité, se ramène à l'unité merveilleuse de mouvements diversifiés à l'infini, et observant les règles d'une inaltérable harmonie.

Ici nous sommes en présence d'un point de départ et d'une hypothèse. Le point de départ choisi, c'est l'expérience et l'expérimentation se frayant leur voie sur le terrain de la libre recherche, et abstraction faite de toute préoccupation métaphysique ou religieuse. Cependant l'esprit philosophique reprendra toujours ses droits lorsque le moment sera venu de raisonner sur les résultats de l'observation. La science complète, et digne de ce nom, n'existera jamais sans la généralisation et la synthèse (2).

A côté du point de départ, il y a l'hypothèse, et celle-ci consiste dans une affirmation de la plus haute portée métaphysique : tous les phénomènes de la nature ne sont-ils que des mouvements de masse et moléculaires? Les divers problèmes de la physique, de la chimie, de la biologie, se résument-ils, comme expression dernière, dans une question de mécanique? Les phénomènes vitaux, par exemple, ne sont-ils que des vibrations lumineuses, calorifiques, électriques, chimiques, dans des conditions plus ou moins spéciales d'existence? La sensibilité, l'intelligence et la volonté sont-elles autre chose que des appropriations de même ordre, des oscillations moléculaires?

La physico-chimie a son domaine particulier, et, sur ce point, je n'ai nulle objection à faire à la théorie nouvelle. La biologie ne nous offre-t-elle que des phénomènes du même genre, et seulement plus complexes? A côté d'un très-grand nombre de faits où la réponse ne peut être qu'affirmative, n'y a-t-il point, toutefois, certaines exceptions à reconnaître, une caractéristique à distinguer? La double

---

(1) Causes secondes qu'il ne faut nullement confondre avec la cause prochaine, c'est-à-dire les conditions d'exercice des phénomènes.

(2) Quelle que soit la perfection de l'analyse, toute synthèse un peu générale sera toujours une hypothèse, et conservera le caractère *à priori*. Il y a donc ici matière à une contestation sans fin, qu'évitent aisément ceux qui s'enferment dans le fait brut, sans vouloir en sortir. Que leur quiétude leur soit légère!

conversion du calorique en mouvement musculaire et du mouvement extérieur en calorique musculaire est le cas particulier de l'hypothèse, qui me paraît le plus susceptible d'une solution définitive. Je reprends une étude poursuivie dans plusieurs essais antérieurs.

MÉTHODE A SUIVRE. — Elle est en elle-même des plus simples et aura de plus l'inappréciable avantage de ne soulever aucune objection. Pour démontrer la vérité de l'hypothèse newtonienne, les astronomes ont raisonné comme si elle était exacte, et l'observation est venue ensuite donner au calcul la plus éclatante confirmation. Supposant que la lumière est une vibration, que la chaleur est une vibration, les physiciens ont sollicité la production d'interférences qui ont justifié leur point de départ expérimental. Supposant de plus l'identité de la chaleur et de la lumière, les savants ont cherché si les mêmes lois n'étaient pas applicables aux deux ordres d'oscillations. Or l'expérience a encore donné raison à un jugement anticipé (1).

La conversion de la chaleur en mouvement et du mouvement en chaleur étant devenue l'un des articles de foi du *credo* scientifique, je me placerai au point de vue de l'hypothèse, et je chercherai à mon tour si les faits d'observation la confirment. Tout *à priori* est justiciable de l'*à posteriori*, et doit en subir le rigoureux contrôle.

SIÉGE ET MATÉRIAUX DES COMBUSTIONS RESPIRATOIRES.

Il existe, sur ce point, des erreurs fort importantes et qui intéressent directement l'objet de ce mémoire. Il me faut donc aborder, au préalable, la question du siége des combustions respiratoires, que me paraissent avoir remarquablement élucidée MM. Estor et Saint-Pierre (2).

A l'opinion de Lavoisier, qui plaçait dans le poumon le siége du travail d'oxydation, en succéda une autre, promptement adoptée des physiologistes, qui attribuait le même rôle aux capillaires généraux.

(1) La méthode consiste, en définitive, à supposer résolu ce qui est en question, et à voir si l'expérience justifie ou non l'hypothèse.

(2) JOURNAL DE L'ANATOMIE ET DE LA PHYSIOLOGIE, 1865, p. 302. J'ai reproduit le plus exactement que je l'ai pu les données de ce précieux travail.

Puis vint M. Cl. Bernard, qui crut devoir placer plus particulièrement dans les capillaires des muscles les combustions respiratoires.

Or les expériences de MM. Estor et Saint-Pierre établissent que le sang, à mesure qu'il s'éloigne du cœur, perd rapidement son oxygène. Tandis que la carotide en possède 21 centièmes, la crurale n'en contient plus que 7 centièmes et les veines des membres de 2 centièmes à 4 centièmes. Ainsi, du cœur aux membres le sang s'appauvrit beaucoup plus en oxygène qu'en traversant les capillaires.

Le degré de la combustion respiratoire est indépendant de la nature des tissus traversés par le sang; il est inversement proportionnel à la rapidité de la marche de ce liquide : plus celle-ci est considérable, moindre est l'oxydation.

A la question de siége s'en rapporte une autre, celle des matériaux qui fournissent aux combustions. On pensait jadis qu'ils étaient empruntés en partie au sang et surtout aux molécules constitutives des tissus. Cette interprétation des phénomènes est inadmissible aujourd'hui. En effet, ni les muscles, ni le foie, ni les glandes ne sont le théâtre d'oxydations directes. Celles-ci ont lieu exclusivement dans le sang et se continuent du poumon au poumon. Très-actives dans le système artériel, elles y sont indirectes ou directes, causes ou suites de dédoublements; mais dans les systèmes capillaires et veineux, elles sont complètes.

Aux molécules des tissus appartiennent les phénomènes de dédoublement s'accompagnant quelquefois d'oxydations indirectes.

D'après le siége des combustions respiratoires, on voit que la cause de la chaleur musculaire est surtout extrinsèque, car de 3 centièmes à 4 centièmes d'oxygène seulement peuvent entrer en combinaison dans le tissu du muscle.

Au dire de Liebig (1842), le travail mécanique est dû à l'oxydation des muscles, les parties non azotées ne donnant que de la chaleur. Telle est l'origine de la fameuse distinction des aliments en plastiques et respiratoires. Pour l'illustre Mayer, le muscle est seulement un appareil au moyen duquel la transformation des forces s'effectue, mais ce n'est pas la substance par le changement de laquelle l'effet mécanique se produit. Celui-ci résulte de la conversion de la chaleur due à la combustion des matériaux ternaires.

Frankland ayant déterminé la somme d'unités de chaleur due à l'oxydation d'un gramme de tissu musculaire, puis la quantité d'azote

excrétée par MM. Fick et Wislicenus, dans leur ascension du Faulhorn, en a déduit que le chiffre des calories était à peine 1 cinquième du nombre proportionnel des kilogrammètres (1). De plus, il a reconnu que l'augmentation considérable du travail mécanique n'exagère que faiblement l'excrétion d'azote, tandis qu'il suffit d'employer des aliments quaternaires en plus forte quantité pour élever très notablement l'excrétion des matériaux azotés.

Frankland conclut : 1° que le muscle est une machine destinée, comme la machine à vapeur, à convertir l'énergie potentielle en force mécanique; 2° que la force mécanique des muscles provient principalement, sinon entièrement, de l'oxydation des substances contenues dans le sang et non de l'oxydation des muscles eux-mêmes. C'est d'une manière analogue que les choses se passent dans la machine à vapeur; 3° que l'aliment combustible et l'oxygène coexistent dans le sang qui circule dans le muscle. *Quand celui-ci est au repos, il n'y a entre eux aucune action chimique;* mais lorsque le cerveau envoie un ordre au muscle, l'agent nerveux détermine l'oxydation.

D'après Matteucci, dont la science déplore la perte récente, des phenomènes chimiques *doivent* se passer dans les muscles avant leur contraction, et ces phénomènes sont provoqués par l'excitation des nerfs (2).

Bien qu'on ne puisse accepter, comme absolument rigoureux, les chiffres de Fick et de Wislicenus, il en résulte au moins ceci, très-clairement, que la combustion du muscle et des substances albuminoïdes du sang ne saurait exprimer le travail accompli, au point de vue de l'équivalence mécanique adoptée.

Une idée commune domine et la doctrine de Liebig et celle de Mayer qui possède la faveur du jour. Cette idée place plus particulièrement les phénomènes de combustion dans l'organe musculaire. Vient ensuite, et c'est ici que la divergence éclate, la détermination du siége précis de l'oxydation et des matériaux consumés. Mais l'hypothèse de la métamorphose dynamique est si étroitement associée à la respiration musculaire que Matteucci fait précéder la con-

---

(1) Revue des cours scientifiques, 5 janvier 1867; c'est-à-dire que les calories expriment à peine le cinquième du travail accompli.

(2) Revue des cours scientifiques, 16 [illegible]

traction de phénomènes chimiques excités par l'action nerveuse. Frankland va beaucoup plus loin, car ses paroles impliquent : 1° que la combustion a lieu *exclusivement* dans les muscles ; 2° que lorsque ces organes sont au repos *il n'y a point* d'oxydation. Celle-ci ne se produit qu'en vertu d'un mandat impératif du cerveau (1). Frankland, on le voit, est un homme intrépide qu'aucune conséquence n'effraie.

Pour Matteucci, comme pour Frankland, la contraction musculaire est consécutive à l'action chimique, déduction logique de l'hypothèse qui place dans cette dernière la cause exclusive du mouvement accompli. Or les recherches expérimentales de MM. Estor et Saint-Pierre établissent que les combustions respiratoires, se produisant *surtout* dans les grosses artères, n'ont lieu que d'une manière accessoire dans les capillaires généraux, et que les muscles n'ont d'autre avantage, à cet égard, que de retarder, par leur contraction le mouvement circulatoire qui leur est propre. Tout arrêt du cours du sang agit dans le même sens.

Donc si le muscle est une machine propre à faire de la chaleur, il ne peut entrer en comparaison, sous ce rapport, avec l'aorte ou les carotides. Frankland a donc commis *d'énormes* erreurs pour le siége qu'il assigne au travail d'oxydation et quant à l'influence directe qu'il assigne au cerveau sur les actes chimiques. Cette dernière erreur lui est évidemment commune avec Matteucci. Mais j'ai trouvé chez M. Sée, à ce point de vue, une véritable entente de la question. « *Pendant* et *par* la contraction le muscle subit deux genres d'oxydation (2). »

La production d'acide carbonique, en proportion plus notable après la contraction musculaire, s'observe pendant la vie et après la mort. Pendant la vie on cite encore, comme dérivés de la musculine, la créatine, la créatinine, la sarkine, la xanthine, l'hypoxanthine, la glycose, l'inosite, l'acide lactique, l'acide urique (3). Alors on suppose que le sucre est un produit d'oxydation ou de dédoublement des matières protéiques, et que la glycose elle-même par fermentation donne de l'acide lactique (4).

---

(1) Et de la moelle épinière, sans doute, dans les actions réflexes.

(2) REVUE DES COURS SCIENTIFIQUES, 1866.

(3) *Ibid.*

(4) *Ibid.*

Mais l'acide carbonique, l'acide lactique et la glycose sont-ils bien effectivement le résultat de l'oxydation des substances quaternaires organisées? Ne trouvons-nous pas ici un écho des doctrines de M. Cl. Bernard sur la glycogénie hépatique? Dans les muscles nous avons de la créatine, de la créatinine, de l'acide urique, produits beaucoup moins oxydés que l'acide carbonique, et nous n'y constatons point la présence de l'urée, qui devrait jouer le rôle d'intermédiaire. Or quand on se rappelle la promptitude de formation de l'acide carbonique par le fait de la contraction musculaire, il est évident que l'oxygène doit agir sur des corps d'une oxydation déjà avancée ou d'une composition plus simple que les principes quaternaires à l'état de tissus.

Il me paraît plus admissible de rattacher la formation de l'acide carbonique à une combustion de l'urée (1), avec dégagement d'azote, et à l'oxydation des matières grasses et amylacées qui proviennent de l'alimentation. J'ajoute d'ailleurs que dans le sang la combustion de l'acide urique donne de l'urée et de l'acide carbonique.

Après la mort, lorsqu'un muscle est placé dans un milieu oxygéné, la combustion persiste et s'exagère sous l'influence des contractions musculaires que détermine l'emploi de l'électricité (2). L'acide carbonique est-il dû alors à l'oxydation directe et complète du tissu musculaire? Faut-il accorder une part, dans sa production, au sang que contiennent encore les capillaires? Faut-il, enfin, faire jouer un rôle à cette substance glycogène, trouvée par M. Rouget dans les muscles du fœtus, et dont M. Sanson a démontré l'existence chez l'adulte?

La doctrine de Mayer, généralement adoptée contradictoirement à celle de Liebig, attribue spécialement les phénomènes d'oxydation

---

(1) L'urée provient des substances albuminoïdes anciennes ou récemment introduites par l'alimentation.

(2) Article cité. Quatrième conclusion.

L'exagération de volume des muscles fréquemment exercés établit, à mon sens, que le principal combustible de ces organes est étranger à leur structure propre. Ce combustible augmentant après le repas, on constate alors une formation plus accentuée d'acide carbonique. Or, soit dit en passant, on remarque pendant la période digestive une faiblesse marquée du système musculaire. Il devrait se présenter précisément le contraire si son énergie était liée à la richesse des oxydations.

aux aliments ternaires passés dans la circulation générale. Aussi, d'après Frankland, le renouvellement des muscles n'est pas sensiblement plus rapide pendant une grande activité musculaire que pendant un repos comparatif (1).

Nous voici maintenant fixés sur le siége et les matériaux des combustions respiratoires ; le rôle très-modeste qu'y joue la contraction musculaire, laquelle précède toujours, d'ailleurs, l'exagération des actes chimiques dont elle n'est que la cause indirecte ; et enfin la part tout aussi modeste, qu'il faut assigner au système nerveux. Relâche-t-il les petits vaisseaux , la combustion, déjà *très-avancée*, éprouve un retard manifeste. Amène-t-il par un procédé quelconque la constriction de ces mêmes organes, les phénomènes d'oxydation deviennent plus sensibles.

Après l'examen préalable, et rigoureusement nécessaire, des combustions respiratoires, je puis aborder maintenant les transformations de forces, car je possède une base sérieuse d'opérations.

TRANSFORMATIONS DES FORCES.

Les métamorphoses dynamiques relèvent de certaines conditions d'existence que nous devons déterminer dans l'ordre physico-chimique, pierre angulaire de toute l'argumentation. La question, d'ailleurs, implique un double examen : conversion du mouvement mécanique en chaleur, conversion de la chaleur en mouvement mécanique.

a. Dans les corps bruts, lorsque le mouvement devient de la chaleur, c'est à la suite de frottements, de percussions, de pression vive ou lente. Donc si l'assimilation des deux règnes est justifiable, il doit en être absolument de même chez les êtres organisés. Arrivons aux exemples.

Lorsqu'un animal descend un plan incliné, il recueille, sous forme de chaleur, le travail négatif accompli. Il en est de même d'un oiseau

---

(1) Le même fait se reproduit avec du tissu rénal (expériences de MM. Estor et Saint-Pierre), c'est-à-dire qu'il se forme aux dépens de ce tissu une grande quantité d'acide carbonique, l'oxygène disparaissant en presque totalité. Or peut-on, comme le font observer les auteurs précités, voir là une combustion respiratoire? L'analogie est probablement assez éloignée.

de proie se laissant choir du haut des airs et arrêtant brusquement, à quelque distance du sol, son mouvement accéléré. Il en est de même du fardeau dont le bras de l'homme ménage ou suspend la chute.

Dans les divers exemples que je viens de citer, on ne tient absolument aucun compte ni du frottement, ni de la percussion, ni de la pression pour expliquer la conversion du mouvement en calorique musculaire (1). Ce fait ne laisse pas que de surpendre un peu quand on se place au point de vue de l'identité radicale des deux règnes. Il y aurait donc un autre mode de transformation spécial aux êtres organisés et que les conditions physiques indiquées précédemment ne nous laissent d'aucune manière pressentir.

Mais avant de chercher l'explication de la dent d'or, ne faut-il point. s'assurer de son existence? On peut invoquer ici les expériences de MM. Hirn et Béclard, que j'ai jadis longuement discutées (2). M. Hirn me paraît avoir raisonné en partant de chiffres non-seulement fictifs, mais impossibles. Quant à M. Béclard, sur les expériences duquel il me paraît superflu de revenir, je me contenterai de lui reprocher l'oubli de la distinction que j'établissais, tout à l'heure, entre une chute ménagée et une chute arrêtée net (3). Chez un animal qui descend un plan incliné il y a une série d'arrêts successifs, plus ou moins courts, marqués par le contact des extrémités inférieures avec le sol, et c'est pendant l'arrêt qu'a lieu, d'après l'hypothèse, la conver-

---

(1) Je dois faire une exception en faveur de M. Marc Dufour (*Dissertation inaugurale*. Zurich, 1865), qui donne surtout pour siége à la transformation dynamique les surfaces articulaires et, en général, tous les points du corps ou un mouvement dû à la pesanteur fait place au repos. On a, le plus communément, pensé que la métamorphose de la chaleur en mouvement se faisant dans les muscles, la conversion inverse devait se faire dans les mêmes organes. Je citerai pour preuve les expériences de M. Béclard.

(2) Gazette médicale, octobre 1865. *De la contraction musculaire dans ses rapports avec la chaleur animale.* — Ibid., année 1866. *De la contraction musculaire dans ses rapports avec la circulation sanguine. Appendice.* — Ibid., 1867. *De la chaleur et du mouvement musculaire.*

(3) Je parle ici de la troisième série d'expériences de M. Béclard où il compare la descente du poids avec l'épreuve statique.

sion du mouvement extérieur en calorique musculaire. De même en est-il lorsqu'un condor se laisse choir de la hauteur de 5,000 mètres par exemple. La transformation presque instantanée du mouvement en calorique musculaire (120 calories environ devenues libres. Poids supposé, 10 kilog.) n'a lieu que lorsque le mouvement est supprimé d'une manière soudaine (1).

En effet, le mouvement extérieur ne se transformera en chaleur que tout autant qu'il sera supprimé et dans la mesure où il sera supprimé.

Dans les expériences de M. Béclard, la chute ménagée du corps pesant, soutenue par le bras droit, est sans doute aussi brusquement suspendue, mais elle l'est par l'action du bras gauche, qui devrait alors en recueillir tout le bénéfice. Faut-il, de plus, tenir compte des effets de la pesanteur que dissimule la contraction musculaire?

La pesanteur n'est point en elle-même un mouvement de masse, mais une cause virtuelle de ce mode particulier de mouvement. Or le mouvement extérieur qu'empêche de se réaliser la contraction musculaire ne saurait être transformé en chaleur puisqu'il n'existe point. Reste donc le mouvement de masse que laisse subsister le bras droit, et dont la suppression est tout à l'avantage du bras gauche, si la théorie est exacte.

Les considérations qui précèdent suffisent pour établir de deux choses l'une : ou bien le mouvement extérieur se transforme en calorique musculaire, d'après un mode spécial et sans aucune analogie avec la production du phénomène dans la matière brute; ou bien cette conversion n'est qu'une hypothèse injustifiable. L'exemple du condor ne me paraît même laisser subsister que la seconde alternative.

b. J'arrive maintenant à la conversion de la chaleur en mouvement mécanique. Cette conversion se rattache à deux types apparents qui pourraient bien n'en constituer qu'un seul en réalité.

---

(1) Cette transformation instantanée de 50,000 kilogrammètres en 120 calories élève considérablement la température du condor, qui doit être normalement d'à peu près 40 degrés. Chaque kilogr. d'animal (10 kilog.) en gagne 12 pour sa part, ce qui ne suffit point pour rôtir le puissant volatile, mais doit coaguler la myosine et le faire succomber à une paralysie aussi soudaine que complète. La théorie l'exige.

Le premier type est celui qui nous est offert par la machine à vapeur. L'écartement plus considérable des molécules d'eau passée à l'état de gaz, sous l'influence du calorique, ou bien les molécules liquides animées d'une vitesse plus grande et, par cela même, devenues gazeuses, agissent, par pression ou expansion, sur le piston de la machine, et de là, comme conséquence, le travail extérieur. L'intelligence la plus simple de ce mouvement de masse est, sans doute, de le considérer comme la résultante d'une infinité de mouvements partiels. D'où l'identité de nature entre les deux ordres de phénomènes moteurs.

Le deuxième type nous est offert par les machines électriques auxquelles on fait produire un travail extérieur. On a remarqué qu'il y avait alors une diminution dans la chaleur due aux actions chimiques, et que cette perte est représentée exactement par le travail mécanique obtenu. Or pouvons-nous, dans l'espèce, invoquer une résultante d'actions moléculaires opérant par expansion? Le fait est douteux.

Chez les êtres vivants, les mouvements dus à la contraction musculaire ne sauraient être rattachés au premier type. Il est inadmissible que le travail extérieur soit dû à la dilatation éprouvée par le muscle sous l'influence de la production de chaleur. En effet cette dilatation ne se montre point comme effet primitif, mais à la longue, par suite de la congestion sanguine de l'organe (1).

Jusqu'à présent on ne saurait donc nier la possibilité de la conversion de la chaleur musculaire en mouvement de masse, pourvu que le deuxième type ne soit pas réductible au premier, car alors la question serait jugée.

Matteucci distingue très-nettement ces deux types. D'après cet auteur, le calorique produit, dans la machine électrique, par l'oxydation du zinc, ne peut engendrer qu'un travail musculaire trente mille fois moins considérable que celui qui se trouve dans la contraction. L'excitation du nerf, agissant comme une étincelle sur une masse de poudre fulminante, provoque la transformation des actions chimiques en phénomènes mécaniques. Ainsi l'on conçoit comment

---

(1) Gazette médicale, 1866. *De la contraction musculaire dans ses rapports avec la circulation sanguine.*

on peut éveiller un travail musculaire qui n'est pas, théoriquement parlant, équivalent à la cause qui a excité le nerf (1).

Les recherches de Matteucci mettent donc en lumière ce fait extrêmement curieux d'une disproportion énorme entre le calorique disparu et les effets mécaniques dus à la contraction musculaire. Combien loin nous sommes des 61 kilogrammètres de M. Hirn (2), des 6 ou 700 kilogrammètres de M. Béclard (3) et des 425 kilogrammètres généralement acceptés, parce que tel est l'équivalent mécanique de la chaleur pour la matière brute !

Je pourrais me contenter d'opposer à l'interprétation de Matteucci (analogie du mouvement contractile et de la déflagration d'une poudre fulminante) une fin de non-recevoir absolue. Au point de vue de l'équivalence mécanique de la chaleur, la question des poudres fulminantes est formellement réservée (4). Il y a ici des éléments non déterminés qui ne permettent pas de démontrer, pour le moment, l'application de la théorie nouvelle au cas particulier. Si la question est réservée en physique, à plus forte raison doit-elle l'être en biologie. N'affirmez donc point ce que vous ignorez.

Néanmoins admettons, pour un moment, la comparaison, et voyons ce qu'elle renferme. L'excitation du nerf par le cerveau ou par l'électricité produit soudainement, dites-vous, des actes chimiques se traduisant par le mouvement musculaire. Or nous savons déjà que, dans les conditions physiologiques, c'est ce mouvement lui-même qui, en gênant la circulation, exagère les actes chimiques. Ceux-ci ne produisent donc point la contraction. De plus, des combinaisons comparables à celles qui s'observent dans le cas de poudres fulminantes

---

(1) Les résultats annoncés par Matteucci me paraissent très-extraordinaires et peut-être méritent-ils confirmation.

(2) Hirn a adopté plus tard le chiffre de 425 kilogrammètres, mais sans dire pourquoi.

(3) M. Béclard n'a prétendu donner qu'une approximation, et il trouvait que 600 kilogrammètres se rapprochent singulièrement de 425 kilogrammètres.

(4) M. Cournot (*Traité de l'enchaînement des idées fondamentales dans la science et dans l'histoire*, p. 233) a présenté le fait des poudres fulminantes comme une objection contre la théorie de l'équivalence mécanique. On lui a répondu en réservant la question.

pourraient fort bien n'être pas sans danger pour la structure des muscles.

Maintenant la comparaison se peut-elle soutenir davantage à un autre point de vue? Lorsqu'il y a déflagration d'une poudre fulminante, vous êtes en présence de phénomènes chimiques et mécaniques non déterminés. Or, pour les muscles, vous avez commencé par une mesure très-rigoureuse des actes chimiques, puisque vous les proclamez 30,000 fois insuffisants pour réaliser les effets mécaniques de la contraction.

Mais ce n'est pas seulement l'excitation nerveuse et l'électricité qui déterminent la contraction musculaire. Il en est aussi de même de l'irritation simplement mécanique, c'est-à-dire d'un mouvement de masse très-restreint et qui, transformé d'abord en chaleur (principe de tout effet moteur d'après l'hypothèse), ne pourrait s'exprimer en calories que par des chiffres d'ordre infinitésimal. Une fraction seulement de ces calories devrait revenir à l'état de mouvement de masse, et celui-ci deviendrait inappréciable. L'observation établit le contraire.

Dans le frottement et la division des tissus, nous n'avons que des actions physiques fournissant une chaleur très-faible, eu égard à celle que développent les actions chimiques. Il n'y a donc ici rien d'assimilable à l'étincelle de la poudre fulminante; et si nous ne pouvons y démontrer la multiplication des phénomènes moteurs primitifs, il faut avouer que cette multiplication ne paraît pas plus nécessaire dans les cas d'excitation électrique ou nerveuse.

L'action nerveuse consiste, au moins pour les fils conducteurs, en un mouvement vibratoire d'une grande lenteur (30 mètres par seconde), auquel on attribuerait le rôle de provoquer les actions chimiques d'une manière directe. La chaleur, la lumière, l'électricité, qui se meuvent avec une prodigieuse vitesse, ne doivent sans doute qu'à cette rapidité d'oscillations leur puissance de composition et de décomposition (1). Au lieu de ces rapprochements disparates, s'il y

(1) Je n'ai qu'un argument à opposer à l'identité des fluides électriques et nerveux : la contraction musculaire, lorsqu'il s'agit de l'électricité, se montre à l'ouverture et à la fermeture du courant, tandis que, dans l'état physiologique, cette contraction dure pendant toute la période d'innervation.

avait une assimilation à établir, ce serait entre les actions nerveuses et les irritations mécaniques. Les phénomènes moteurs sont beaucoup plus voisins les uns des autres.

Il y a donc : 1° un hiatus énorme entre le calorique disparu et le mouvement musculaire, lorsque celui-ci est sollicité par des actions électriques;

2° Un hiatus sans mesure appréciable lorsque la contraction est due à l'action nerveuse ou aux irritants mécaniques.

Donc, enfin, l'interprétation de Matteucci du mécanisme de la métamorphose dynamique, pour les faits du deuxième type, est complétement inacceptable.

La conversion de la chaleur en mouvement a lieu, dans la matière brute, par un processus ignoré, en dehors de l'exemple bien connu de la machine à vapeur; et, jusqu'à présent, je n'ai établi, pour les êtres vivants, que le mal fondé d'une explication particulière. Pouvons-nous aller plus loin?

En analysant le fait de la contraction musculaire, j'ai déterminé son influence tout indirecte sur les combinaisons chimiques. Elle agit à titre d'obstacle à la circulation capillaire, et rien d'autre. Il est donc impossible maintenant d'emprunter la chaleur nécessaire à la production du mouvement, d'après l'hypothèse, à l'action chimique sollicitée directement, dit-on, par l'influence nerveuse. La contraction précédant l'oxydation supplémentaire ne peut en être le résultat : mais il se pourrait fort bien qu'elle fût due, dans le principe, à la chaleur préexistante. Cette supposition n'a rien d'admissible, seulement elle exige une condition *sine qua non*, savoir l'abaissement de la température propre du muscle, au moment même où débute la contraction.

Nous arrivons enfin à la véritable pierre de touche de la théorie des métamorphoses dynamiques dans son application aux corps organisés. Le mouvement extérieur est dû à la contraction; celle-ci exagère les actions chimiques, exagération dont elle est indépendante, puisqu'elle la précède. Qui dit contraction dit mouvement, qui dit mouvement dit chaleur disparue. Or cet abaissement de température, je le répète, ne peut avoir lieu qu'aux dépens du calorique préexistant.

Des expériences de thermo-électricité dues à MM. Becquerel et Breschet ont tranché la question il y a une trentaine d'années, expé-

riences dont la valeur est d'autant plus grande qu'elles ont été faites dans un esprit désintéressé de toute préoccupation systématique. Je laisse la parole à M. Becquerel :

« Supposons que l'une des soudures soit maintenue à une température fixe de 36 degrés, et que l'autre soudure soit placée dans le biceps brachial. Le bras étant tendu, l'aiguille aimantée est déviée de 10 degrés environ. Si l'on ploie alors l'avant-bras de manière à contracter le muscle, la déviation augmente *aussitôt* de 1 à 2 degrés du multiplicateur (1). »

Donc le mouvement extérieur n'est dû ni à la chaleur préformée ni à la chaleur consécutive à la contraction. Donc, de deux choses l'une : ou il faut nier la possibilité de ce mouvement, ou il faut sacrifier la théorie.

On ne fera ni l'un ni l'autre, et l'on continuera à admettre la conversion de la chaleur animale en mouvement musculaire, et du mouvement musculaire en chaleur animale. C'est devenu un article de foi ; que chacun s'incline !

Application de la théorie. — La doctrine de la transformation des forces a conduit à de singulières conséquences relativement au régime. Les matériaux azotés des muscles et ceux du sang ne pouvant donner, au maximum, que le cinquième de la force dépensée, il a fallu faire intervenir les substances ternaires. Frankland n'assiste pas sans quelque attendrissement au repas des terrassiers du Lancashire qui absorbent une grande quantité de lard et de pain (2). Il invoque la nourriture grasse et sucrée des chasseurs de chamois. Donders cite, de son côté, l'exemple d'insectes devenant d'albuminophages exclusivement légumistes lorsque l'heure du travail est venue pour eux.

Tout cela ne me paraît guère supporter l'examen. Les terrassiers du Lancashire ne mangeaient autant de gras et de substances amy-

---

(1) *Traité de l'électricité et du magnétisme*, t. IV, p. 21. Les effets thermo-électriques, dit M. Becquerel, donnent *immédiatement* et avec une grande exactitude la température du milieu où se trouve l'aiguille à soudure. *Ibid.*

(2) Les blocs de lard (textuel) font oublier à Frankland de faire la part des épaisses tranches de pain qui leur servaient de support. Dans le pain il entre bien quelque peu de gluten.

lacées que parce que le beefsteack leur manquait. Celui-ci, sous un moindre volume, leur eût été bien préférable, car il est d'observation que les ouvriers nourris de viande sont beaucoup plus forts que ceux qui vivent de féculents. Un exemple bien remarquable nous est fourni par le régime des athlètes qui bannissent autant que possible la graisse et les matières amylacées de leur alimentation.

Plus un homme s'adonne aux exercices gymnastiques, plus il devient vigoureux, et plus forte est la proportion qui lui est nécesaire de substances azotées, moins forte est celle qui lui est utile d'aliments ternaires. La théorie ne pouvait recevoir de l'expérience un démenti plus formel, et j'engage MM. les physiologistes qui célèbrent les vertus dynamiques de la graisse et de la fécule à faire, avec ce régime, un essai personnel d'entraînement.

Cela posé, je ne crois pas devoir m'arrêter à l'alimentation des chasseurs de chamois et à celle de certains insectes. Pour ces derniers il pourrait bien y avoir de tout autres raisons que celles données par Donders pour expliquer leur changement d'habitudes quant à la nourriture.

INFLUENCES MODIFIANT LA CONTRACTION MUSCULAIRE.

Je ne parlerai point ici de ces influences *in extenso*, mais en me plaçant à l'unique point de vue du sujet de ce travail.

Température. La chaleur accélère la circulation que le froid retarde ou suspend. Dans le premier cas, dit-on, la chaleur s'est transformée directement en action motrice. En effet, le froid c'est la paralysie, la mort; jamais il n'a favorisé les phénomènes qui dépendent de la vie, aussi n'agit-il point sur la contractilité du vaisseau dans lequel il arrête le cours du sang (1).

J. Chmoulevitch distingue un travail partiel et un travail total; le premier est facteur du second.

« Le travail *partiel* d'un muscle de grenouille s'accroît avec l'élévation de la température jusqu'à 30°,33, selon sa longueur et sa tension. Au-dessus de 30°,33 le travail mécanique commence à diminuer rapidement. En continuant d'élever la température, on arrive bientôt à un degré où le muscle supportant un certain poids ne se contracte

---

(1) *Journal de l'anatomie et de la physiologie*, p. 530 et suivantes. Année 1866.

plus. De 30° à 40° les molécules perdent peu à peu la faculté de se rapprocher.

« Le muscle s'épuise beaucoup plus rapidement à une température élevée qu'à une température basse, toutes choses égales d'ailleurs, et plus encore avec un grand poids qu'avec un petit poids.

« Cette plus grande rapidité d'épuisement par la température élevée est cause que le travail *total* du muscle est toujours moins considérable quand la température est élevée que quand elle est basse.

« Le muscle actif possède à une haute température une plus grande élasticité que quand sa température est basse (1). »

La chaleur provoquant la dilatation des capillaires, Marey a expliqué la circulation plus active par une résistance moindre à l'action cardiaque. Il se peut qu'il y ait également une part à faire à une stimulation que produirait sur le centre du système circulatoire une certaine élévation de température, mais rien ne prouve la transformation supposée. Quand on place un glaçon sur le cœur, celui-ci ne tarde guère à cesser de battre; mais un charbon ardent ne serait pas plus démonstratif. Nous nous éloignons trop de l'état normal.

Dans certaines limites, la chaleur amène la dilatation active ou passive des capillaires; dans de certaines limites aussi, le froid provoque la dilatation active ou passive des capillaires. Ceci revient à dire que la peau rougit sous la double influence du froid et de la chaleur, et que, par conséquent, les vaisseaux capillaires offrent une exagération dans leur calibre.

On a supposé que le froid, agissant d'une manière momentanée, détermine la contraction des fibres musculaires des petits vaisseaux, tandis que la chaleur paralyse ces mêmes fibres. Sur l'influence excitante d'un abaissement momentané de la température, il y a fort peu de divergences; mais où commence le désaccord, c'est quand on attribue les mêmes effets à l'action continue du froid. La fibre musculaire n'est point susceptible d'une contraction permanente.

Je rappellerai que la peau, le dartos et le tissu du mamelon se contractent par le fait du froid, et que cette contraction a un caractère des plus durables, ou du moins on n'en a pas déterminé les limites. Tandis qu'un glaçon suspend les mouvements cardiaques, il produit une rétraction immédiate et continue du dartos. De même il rendra

(1) *Ibid*, janvier 1868.

la peau exsangue au point de contact, et un abaissement plus modéré de température fera paraître le phénomène curieux désigné sous le nom de chair de poule (1).

Je pourrais insister sur ces faits et montrer combien peu ils concordent avec l'hypothèse de la transformation de la chaleur en mouvement, puisque ce n'est point ici la chaleur, mais le froid qui sollicite les effets moteurs (2). Néanmoins, je reviens à la question incidente de la contraction des capillaires par l'action du froid. Dans la peau, le mamelon, le dartos, il y a un tissu contractile ou rétractile qui subit cette action, N'y aurait-il point lieu de supposer que les parois vasculaires contiennent le même tissu accessible à des influences identiques? De plus, lorsqu'un glaçon ou un mélange réfrigérant fait blanchir la peau, n'y aurait-il pas à tenir compte de la rétractilité du tissu du derme amenant une constriction uniforme des tubes capillaires? On échapperait ainsi au mouvement autonome du sang dans les petits vaisseaux.

Quelle part faut-il maintenant assigner à la chaleur et au froid dans les fonctions de la fibre musculaire de la vie animale?

Lorsque la température du milieu ne dépasse point les limites de l'hygiène, l'énergie d'un effort musculaire momentané en est manifestement accrue dans les temps chauds. C'est là un fait bien connu de tous les gymnasiarques d'habitude ou de profession. Toutefois, il y a ici une distinction très-importante à établir, relativement à l'effort soutenu, c'est-à-dire au travail, dans son acception vulgaire. Celui-ci pourra persister beaucoup plus longtemps avec une température basse, pourvu qu'elle ne soit pas trop basse. Il y a à cet égard des variantes dans lesquelles le milieu ordinaire et les conditions de vie doivent jouer un très-grand rôle.

---

(1) Lorsque le mouvement est consécutif à l'action de la chaleur, vous dites que le premier est une transformation de la seconde. Lorsque le mouvement est consécutif au froid, quelle est donc votre conclusion?

(2) Peu importe qu'il s'agisse ou non d'un tissu musculaire. Nous avons ici un mouvement qui est dû, non à la chaleur, mais à un glaçon, c'est-à-dire à ce qui a été pris pour le type du froid. La chaleur semble paralyser le dartos et pourrait bien agir de même sur la tonicité normale de la peau.

Je ne saurais dire si un cheval courra plus vite, sera plus énergique pendant un court laps de temps en été, fait qui semble probable; mais ce que tous les amateurs d'équitation connaissent à merveille, c'est que les chevaux deviennent plus gais, plus disposés à sauter et plus résistants à la fatigue en hiver. Le froid paraît agir sur eux comme un véritable stimulant, tout en tenant compte de cette condition qu'il ne doit avoir rien d'excessif (1).

On a trouvé aussi que l'usage du bromure de potassium affaiblit la puissance contractile des animaux expérimentés. J'ai éprouvé le même effet, d'une manière très-tranchée, en expérimentant sur ma propre personne et employant la dose d'environ 3 grammes par jour. Je remarquai simultanément que j'étais notablement plus sensible à l'action du froid. Je dois cependant ajouter qu'au bout de trois semaines à un mois, par une sorte d'accoutumance, je cessai d'éprouver cette disposition insolite, et que mes habitudes contractiles regagnèrent la plus grande partie du terrain perdu.

Les divers faits d'observation que je viens de rapporter me paraissent, d'une manière générale, confirmatifs des propositions de Chmoulevitch rapportées précédemment.

Qu'on admette l'action momentanée ou prolongée du froid, à titre d'excitant de la contractilité des fibres musculaires de la vie organique, on se place en opposition avec l'hypothèse de la transformation du calorique en puissance motrice. Au froid ne devait succéder que la paralysie, la mort.

La même hypothèse ne me paraît nullement rendre compte de l'énergie plus grande d'un effort momentané (vie animale) pendant la saison chaude et de la possibilité d'un travail plus soutenu en hiver. Dans le premier cas, pour rendre le travail prolongé plus facile, il faut soumettre la peau à une fraîcheur relative, et de là le très-léger costume auquel les gymnasiarques ont dû leur nom. Cette fraîcheur est un stimulant de la fibre musculaire, en vertu d'une action réfléchie. Mais ici je ne saurais voir la part qu'il faudrait assigner, comme élément de chaleur et de force mécanique, à la température du milieu et aux combustions respiratoires.

État hygrométrique du milieu. Une autre condition qui agit avec une très-grande énergie et à laquelle on n'a pas prêté grande attention,

---

(1) Ici l'action du froid est continue, mais la contraction ne l'est pas.

c'est l'humidité froide ou chaude de l'atmosphère, mais tout particulièrement l'humidité froide. Cette influence fait perdre aux muscles une grande partie de leur énergie et l'on peut comparer le résultat à celui que détermine un froid rigoureux.

Un muscle pris dans son ensemble, est un organe à la fois contractile et élastique. Cette dernière attribution a même failli faire disparaître la première aux yeux des physiologistes physiciens dont le caoutchouc est l'idéal, dans l'espèce (1). Malgré tout son bon vouloir, Marey a dû laisser subsister la contractilité, et voici le rôle qu'il assigne à l'élasticité : « L'élasticité du muscle transforme la force instantanée qui se produit dans chaque fibre (au moment de la contraction) en une force continue capable de développer un travail (2). »

L'humidité froide ou chaude rend les muscles faibles, disais-je précédemment. L'air plus chargé d'eau pourrait-il diminuer l'élasticité propre à ces organes? Le fait n'est point démontré. En tout cas il est difficile de concevoir comment l'humidité de l'air ambiant serait contraire à la combustion du carbone et de l'hydrogène, c'est-à-dire à la contraction.

Mais l'humidité n'a pas seulement une action lorsque nous sommes dans l'air ambiant. Il y a également à tenir compte de l'effet des bains froids, des bains chauds et aussi des bains chargés de principes médicamenteux. Le bain froid est stimulant de la fibre musculaire pourvu qu'il soit court et que sa température ne soit pas trop basse. Le bain chaud, quelle qu'en soit la durée, affaiblit toujours l'énergie contractile. Quant aux bains médicamenteux, je ne parlerai que des bains de mer, moins toniques lorsqu'ils sont chauds, ils le deviennent d'une manière très-remarquable lorsqu'ils sont froids.

J'ai même fait à cet égard une observation curieuse. On sait généralement que lorsqu'un homme s'adonne aux exercices du corps, ses muscles acquièrent non-seulement plus de volume, mais encore plus de densité. Ce dernier fait est singulièrement mis en relief dans l'acte de la contraction. On sait aussi que lorsque les exercices sont suspendus, même temporairement, par exemple quinze jours ou trois semaines, la densité diminue avec une rapidité très-grande, et, si-

(1) Pour ces physiologistes, la contractilité musculaire n'est qu'un jeu des forces élastiques.

(2) Revue des cours scientifiques, 1867, p. 840.

multanément, on voit diminuer, bien qu'avec plus de lenteur, l'énergie contractile. J'avais remarqué, il y a déjà plusieurs années, qu'une interruption d'exercice pendant un mois, six semaines, à une époque où je me trouvais aux bains de mer, n'avait diminué en rien mes aptitudes musculaires. J'ai fait cette observation deux fois. Dernièrement une nouvelle épreuve m'a sans doute donné la clef du problème, en me montrant que la densité musculaire n'avait nullement faibli malgré une interruption d'exercice de quinze jours. Il est probable que plus un muscle est dense plus il est vigoureux, et les bains de mer jouissent de la très-remarquable propriété de conserver cette densité un temps que je ne saurais d'ailleurs exactement préciser.

Comment agissent, sous ce rapport, les autres bains minéralisés et les bains simplement froids? Je l'ignore.

L'air humide affaiblit les muscles, de même les bains chauds non minéralisés; les bains froids de courte durée, surtout les bains de mer, sont essentiellement sthéniques. De plus, ces derniers favorisent la nutrition musculaire, favorisent par cela même l'énergie motrice. Aussi leur action tonique est-elle double : temporaire et permanente. De là résulte que l'eau est probablement sans effet sur l'élasticité des muscles, et que la conservation de leur puissance est liée, non à la combustion respiratoire, mais à l'assimilation nutritive augmentée. L'hypothèse des métamorphoses dynamiques ne peut expliquer cette conservation que par une richesse exceptionnelle d'oxydations, qui est la voie rétrogressive de la nutrition.

Musculation. — Indépendamment de l'influence défavorable, c'est-à-dire la fatigue, le fonctionnement des muscles est-il propre à en augmenter l'énergie? Ce qu'on appelle vulgairement l'échauffement du muscle a-t-il un effet utile?

Un des exercices difficiles du trapèze et de la barre horizontale consiste à se suspendre d'une seule main, puis à ramener le bras (supportant tout le poids du corps) à angle droit sur l'avant-bras. Le *rétablissement* sur les deux bras en s'élevant lentement au-dessus du trapèze, la *planche en avant*, impliquent également, surtout la dernière, des efforts considérables. Je puis certifier qu'on réussit mieux ces divers exercices lorsque les muscles n'ont subi aucune fatigue préalable.

S'il s'agit au contraire d'élever, avec une ou deux mains, des poids

très-lourds, pour les maintenir ensuite à longueur de bras au-dessus de la tête, ici un travail de préparation, consistant en une série de tentatives, est très-favorable quand on arrive, ou peu s'en faut, à la limite de ses forces. De même en est-il pour le saut en longueur et en hauteur. J'ai de plus reconnu que lorsque la sensation de fatigue est déjà très-caractérisée, sans être excessive, les muscles sont le mieux disposés pour un bond énergique. L'effort le plus considérable, au premier essai, donne un résultat toujours dépassé par les tentatives ultérieures, qui peuvent gagner, pour le saut en longueur, jusqu'à 1 pied et demi, 2 pieds.

Les deux ordres de faits que je viens de rapporter n'offrent, à mon avis, d'opposition qu'en apparence. Si l'on prend deux des exercices que j'ai cités en premier lieu, savoir : élever le corps d'un seul bras et arriver à l'angle droit sur l'avant-bras, ou bien encore la planche en avant, on est en présence d'un déploiement de force musculaire où la part de l'adresse est tout à fait insignifiante. Cette part est marquée dans le rétablissement mentionné plus haut.

Mais dans la seconde série de faits, le rôle de l'adresse est très-important. De là l'utilité d'essais multiples qui, en favorisant les oxydations, augmentent sans doute l'élasticité.

L'hypothèse de la transformation des forces exigerait que le summum d'énergie contractile, au lieu d'être primitif, fût consécutif à des contractions répétées, c'est-à-dire à des combustions respiratoires beaucoup plus actives. Les choses paraissent aller ainsi pour les faits de la seconde série, mais ceux de la première établissent péremptoirement l'erreur d'une semblable interprétation. Après avoir fait la part de l'élasticité, il faut donc reconnaître celle de l'adresse ou habileté acquise par la répétition d'actes habituels.

Pesanteur. — Il y a un muscle dont les mouvements sont favorisés, dit-on, par les poids divers dont on charge les épaules. Ce muscle est le cœur.

« Quand on soulève un poids à une certaine hauteur, les battements du cœur sont moins fréquents que lorsque l'on fait le même mouvement et les mêmes contractions sans soulever de poids.

« Un poids sur le dos, le sujet étant immobile, augmente le nombre des pulsations ; les vêtements lourds agissent de même (1). »

---

(1) Journal de l'anatomie et de la physiologie. 1866. Art. cité.

Il résulte de recherches sphygmographiques auxquelles je me suis livré que le simple effort d'expiration, sans soulever de poids d'aucun genre, amène un retard notable dans les pulsations pendant les quatre à cinq premières secondes (1). Puis le nombre de ces pulsations, bien que l'effort soit continué, s'exagère ensuite d'une manière très-évidente. C'est ainsi qu'elles sont plus fréquentes de la dixième à la quinzième seconde que de la cinquième à la dixième. La palpation directe du pouls suffit d'ailleurs à la constatation du phénomène. Donc l'effort produit manifestement un retard des pulsations sur lequel la pesanteur n'a aucune influence (2).

J'ai répété les expériences faites pour démontrer que le mouvement de masse (poids), devenu mouvement moléculaire (chaleur), est repassé à l'état de circulation plus active (mouvement de masse). Je me suis fait placer sur le dos d'abord un enfant du poids de 45 livres, puis, dans une deuxième épreuve, un homme pesant 135 livres. La température extérieure était de 35 degrés centigr. et debout j'avais 84 pulsations par minute. Appuyant solidement le front et les coudes, et debout sur les jambes, je n'eus la conscience d'aucune espèce d'effort, et il me sembla résister passivement et par la seule position. Dans les deux cas, la fréquence des pulsations est demeurée la même. J'ai conservé le chiffre de 84 par minute.

N'est-ce point le cas de se souvenir de l'adage antique : ***Experientia fallax, judicium difficile?***

De la fatigue. — Après avoir considéré la fatigue musculaire comme liée à un certain épuisement du système nerveux, on a cru, dans ces derniers temps, pouvoir la rattacher soit à la disparition d'oxygène, soit à la production d'acide lactique dans le suc musculaire. Cette dernière opinion paraît généralement adoptée.

Les boissons alcooliques, le café, l'hydrothérapie, les bains de mer jouissent d'une action efficace et prompte pour dissiper la fatigue. Il n'est pas moins remarquable de constater que les mêmes agents, surtout le café (comme le démontre l'exemple des soldats en

---

(1) Gazette médicale, 1866. ***De la contraction musculaire dans ses rapports avec la circulation sanguine.***

(2) Une analyse incomplète du fait a porté à l'actif de la pesanteur un phénomène caractéristique de l'effort.

marche) sont propres à la prévenir (1). Or, de deux choses l'une : ou ils favorisent les combustions respiratoires, ou ils les diminuent, fait reconnu, me semble-t-il, pour l'alcool (2). Dans le premier cas il y aura plus de chaleur, et, conformément à l'hypothèse, un plus grand nombre de mouvements possibles, mais aussi plus d'acide lactique, d'où, comme conséquence, la fatigue et un milieu acide mettant obstacle à l'oxydation. Dans le second cas, la diminution des combustions préviendra la fatigue sans doute, mais par contre la chaleur sera moindre également et l'énergie motrice affaiblie.

L'influence du système nerveux qui, *directement*, est nulle pour produire le travail d'oxydation, n'en est pas moins très-importante soit pour prévenir, soit pour diminuer, soit même pour provoquer la fatigue (3). L'excitation morale normale ou pathologique donne parfois une énergie à toute épreuve (4). Or beaucoup de mouvement implique une oxydation exagérée et celle-ci l'acide lactique, d'où la fatigue, c'est-à-dire précisément ce qui fait défaut. Comment admettre aussi que l'excitation morale fait disparaître l'acide lactique pour permettre des combustions nouvelles et des mouvements nouveaux ? Comment admettre enfin que le travail qui vous ennuie et où vous dépensez peu d'énergie musculaire, amène si vite la fatigue ? Provoquez l'intérêt, et l'on voit s'évanouir la fatigue et reparaître la puissance contractile. Cependant le muscle devrait être enrayé, en tant que machine à transformation du calorique en mouvement.

La répétition des exercices musculaires prévient également la fatigue d'une manière très-marquée. Comparez un homme entraîné pour la marche avec un autre homme dont l'existence est molle et

(1) On a remarqué effectivement que l'usage du café donnait une singulière résistance à la fatigue.

(2) L'usage de l'alcool a pour résultat constant de diminuer la quantité d'acide carbonique exhalé.

En serait-il de même pour le café ?

(3) Le système nerveux agit directement sur la contractilité, et celle-ci, en exercice, provoque les oxydations. Ma manière de voir est précisément l'antithèse de celle de Frankland.

(4) Dans l'ordre pathologique je puis citer pour preuves la manie et certains cas de somnanbulisme. Dans l'état de santé on voit des femmes débiles, incapables de marcher pendant une heure et qui danseront facilement pendant une nuit entière.

oisive (1). Le premier étant moins fatigué après une traite de dix lieues, je suppose, que le second après avoir parcouru deux lieues, faut-il conclure de l'absence de fatigue la production moindre d'acide lactique, l'oxydation moindre, d'où chaleur plus faible et mouvements plus rares? Cette dernière assertion est précisément le contraire de la vérité.

Un entraînement répété pendant un grand nombre de générations peut donner un caractère de race. C'est ainsi que les Indiens dont l'alimentation peu assurée est très-souvent misérable, au lieu de faire de mauvais marcheurs, dépassent de beaucoup sous ce rapport les peuples d'origine européenne. Or peu d'aliments, peu de combustible, peu de mouvement.

On sait que les Indiennes supportent des travaux très-rudes; mais peut-être y a-t-il là un caractère de sexe. J'ai ouï dire qu'en Belgique les femmes sont employées de préférence, dans certaines usines, comme ayant plus de résistance à la fatigue que les hommes (2). La supériorité de ceux-ci, relativement au travail, serait donc bornée aux efforts énergiques et momentanés.

La combustion du carbone est beaucoup plus faible chez la femme menstruée que chez l'homme. De plus, pendant la période menstruelle, c'est-à-dire de 15 à 40 ans environ, la femme devrait perdre de son énergie musculaire; ce qui n'est pas.

Donc les conditions qui préviennent ou font disparaître la fatigue relèvent de certaines dispositions nerveuses, de l'habitude, de la race, du sexe (2), de l'emploi de quelques toniques immédiats du système nerveux : café, alcool, bains de mer, hydrothérapie. Et n'est-il pas matériellement impossible de rattacher ces conditions diverses à une diminution des combustions respiratoires qui, d'après l'hypothèse, supprimerait d'emblée l'aptitude motrice?

Celle-ci étant un phénomène parallèle d'oxydations multiples et de la chaleur consécutive : *Cum hoc ergò propter hoc*. L'argument est péremptoire et trouve peu de contradicteurs.

Conclusion. — Après avoir critiqué à divers points de vue les démonstrations basées sur l'expérience et le raisonnement qui ont en-

---

(1) Je choisis cet exemple parce que tout le monde sait marcher et n'emploie à cet exercice que les mêmes muscles.

(2) Elles portent dans des hottes des charges de minerais.

levé, de haute lutte, les suffrages les plus autorisés de la science contemporaine, je viens aujourd'hui de rompre en visière avec la théorie elle-même considérée dans son principe et ses conséquences immédiates. A tous les points de vue, je ne puis y voir qu'une hypothèse gratuite, et telle sera la conclusion d'une série d'études toujours abstraites, souvent arides, et qui attendent l'honneur d'une réfutation sérieuse.

FIN